

Jukka Kujamäki

Messingin kovuusmittaus ja laadunhallinta

Konetekniikan koulutusohjelma

2020

## Messingin kovuusmittaus ja laadunhallinta

Kujamäki, Jukka  
Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Konetekniikan koulutusohjelma  
Maaliskuu 2020  
Sivumäärä: 45  
Liitteitä: 1

Asiasanat: Messinki, Kovuuskokeet, Seostus

---

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin messingin kovuutta ja kovuuteen vaikuttavia ominaisuuksia. Tarkoituksena oli kartoittaa eri kovuusmittausmenetelmiä ja valita soveltuvin menetelmä Oras Groupin käyttöön. Kovuusmittauksien avulla haluttiin tutkia messinkien ominaisuuksia, varmistua laadusta ja verrata saatuja tuloksia keskenään.

Työ aloitettiin tutkimalla eri messinkejä ja kartoittamalla niiden ominaisuuksia. Tutkimukseen kuului myös perehtyä messingin muokattavuuteen ja lämpökäsittelyihin sekä tutkittiin näiden vaikutusta kovuuteen sekä murtolujuuteen. Keskeinen osa työtä oli selvittää näiden asioiden yhteyttä jännityskorroosioon ja sinkkikatoon.

Näistä tutkimuksista pyrittiin saamaan mahdollisimman hyvä kokonaisuus helpottamaan laadunhallintaa kovuusmittauksien kautta.

## Brass hardness measurement and quality control

Kujamäki, Jukka

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in mechanical engineering

March 2020

Number of pages:45

Appendices:1

Keywords: brass, hardness testing, alloying

---

This thesis studied hardness of brass and different features effecting hardness. Purpose of thesis was to chart different hardness testing methods and choose most suitable method for Oras Group. Hardness testing was used to study the brass properties and verify quality and compare obtained results.

Thesis began by studying different type of brasses and charting their properties. Study included also to orientate malleability of brass and heat treatments and their effect on hardness and tensile strength. Essential part of the thesis was to resolve connection of these to stress corrosion cracking and dezincification.

The aim of these studies was to obtain the best possible package to facilitate quality management through hardness measurements.

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	ORAS GROUP .....	6
2.1	Yleistä .....	6
2.2	Tuotteet .....	6
3	MESSINKI .....	7
3.1	Muokattavuus.....	7
3.2	Seostamattomat messingit.....	9
3.3	Lyijymessingit.....	11
3.4	Erikoismessingit.....	12
3.5	Valumessingit .....	12
3.6	DZR messinki .....	13
3.7	4MS lista juomavesikäyttöön hyväksytyistä metalleista .....	14
4	LÄMPÖKÄSITTELY .....	16
4.1	Pehmennyshehkutus.....	16
4.2	Jännityksenpoistoherkutus .....	18
5	KORROOSIOMUODOT .....	20
5.1	Jännityskorroosio .....	20
5.2	Selektiivinen korroosio .....	24
6	KOVUUSMITTAUS.....	26
6.1	Rockwell menetelmä.....	28
6.2	Vickers menetelmä.....	29
6.3	Brinellin menetelmä.....	31
6.4	Knoopin menetelmä .....	32
6.5	Leebin menetelmä.....	33
6.6	Kovuusarvojen muuntaminen .....	33
7	KOVUUSMITTAUKSEN SUUNNITTELU KAPPALEELLE.....	35
7.1	Mittausmenetelmien kartoitus.....	35
7.2	Mittauksien toteutus.....	38
7.3	Valettujen osien testausta.....	39
7.4	Kuumapuristettujen osien testausta.....	41
8	YHTEENVETO .....	44
	LÄHTEET.....	45
	LIITTEET	

# 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia ja kehittää messinkituotteiden laadunhallintaa Oras Groupissa. Työssä tutkitaan messingin kovuusmittauksia valmiista kappaleista, perehdytään vaadittaviin vaatimuksiin, suoritetaan kovuustestejä ja määritetään mittaustaikkoja.

Työssä perehdytään ja aihe rajataan Oraksen kannalta keskeisiin kovuusmittauslaitteisiin ja -menetelmiin. Näistä laitteista etsitään parhaiten kappaleiden mittauksiin sopiva menetelmä ja perehdytään hyviin sekä huonoihin puoliin. Tarkoitus on miettiä parhaiten sopiva menetelmä näytteen valmistukseen ja kartoittaa mittaustaikkoja näytteistä.

Opinnäytetyössä käsitellään tutkittuja ja havaittuja asioita sekä niiden hyviä ja huonoja puolia. Tarkoitus on tutkia valettuja ja kuumapuristettuja kappaleita ja varmistua parhaiten soveltuvan kovuusmittarin valinnasta.

## 2 ORAS GROUP

### 2.1 Yleistä

Oras on Erkki Paasikiven 8. toukokuuta 1945 perustama yritys. Alusta lähtien yritys on keskittynyt tarjoamaan helppokäyttöisiä, turvallisia, vettä ja energiaa säästäviä tuotteita. (Oras group www-sivut 2019.)

Tänä päivänä Oras on merkittävä tekijä Euroopassa vesikalustetoimittajana, markkinajohtaja pohjoismaissa ja johtava yritys Manner-Euroopassa. Yrityksen tavoitteena on tehdä veden käytöstä helppoa, säästäväistä ja tuottaa modernia muotoilua. Oras esitteli ensimmäisen kosketusvapaan hanan jo 90-luvulla ja tavoitteena on tulla kehittyneiden vesikalusteiden markkinajohtajaksi Euroopassa. (Oras group www-sivut 2019.)

Konsernin pääkonttori sijaitsee Suomessa Raumalla. Oraksen neljä tehdasta sijaitsevat Suomessa Raumalla, Burglengenfeldissa Saksassa, Kralovicessa Tšekissä sekä Olesnossa Puolassa. Oras Group työllistää n. 1400 henkilöä kahdessakymmenessä maassa. Oras Groupin omistaa perheyhtiö, teollinen omistaja Oras Invest. (Oras group www-sivut 2019.)

### 2.2 Tuotteet

Oras on keskittynyt valmistamaan vesikalustetuotteita. Yritys valmistaa laadukkaita hana- ja suihkutuotteita sekä erilaisia venttiileitä ym. tarvikkeita teknisiin tiloihin. Tuotteissa on laadun lisäksi panostettu suuresti ulkonäköön ja muotoiluun.

Tuotteet on valmistettu DZR-messingistä (sinkinkadon kestävä messinkiä), sinkistä, polymeeristä, komposiitista, lasista tai keramiikasta käyttökohteesta riippuen. Materiaali valitaan niin, että veden laatu pysyy hyvänä ja tuote korroosion kestävä. Lisäksi kaikki materiaalit täyttävät laatu- ja turvallisuusvaatimukset kaikilla markkina-alueilla. (Oras group www-sivut 2019.)

### 3 MESSINKI

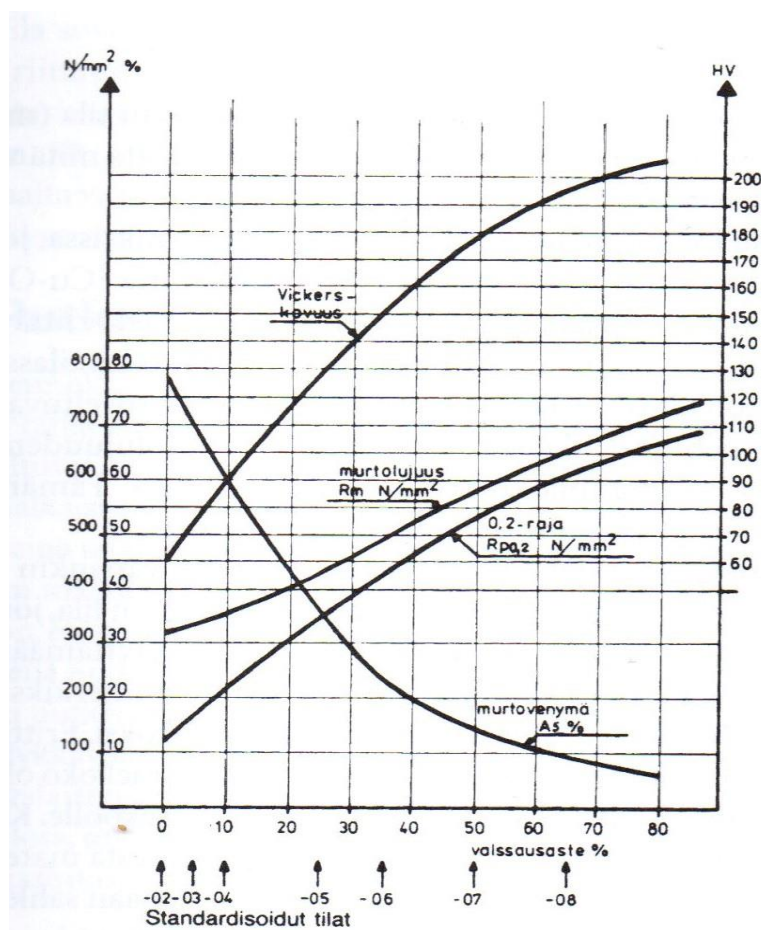
Messinki on kuparin ja sinkin seos. Messingit muodostavat kupariseoksien käyttömäärältään suurimman ja tärkeimmän ryhmän. Messinki saattaa sisältää muitakin seosaineita kuin sinkkiä ja ne voidaan jakaa karkeasti kolmeen ryhmään:

- Seostamattomat messingit, ei muita seosaineita kuin kupari ja sinkki
- Lyijymessinki sisältää 0,5-5% lyijyä, joka parantaa lastuttavuutta
- Erikoismessinki, jota parannetaan eri seosaineilla haluttujen ominaisuuksien parantamiseksi, kuten esim. lujuus tai korroosionkestävyys.

(Silvennoinen, S. 2001, 24.)

#### 3.1 Muokattavuus

Messingin muokkaus vaikuttaa kovuuteen ja murtolujuuteen. Kuvassa 1 esitetään messingin lujuusominaisuuksien ja muokkauksen suhdetta.



Kuva 1. CuZn37 lujuusominaisuuksien muuttuminen muokkausasteen kasvaessa

Messingin kuuma- ja kylmämuokattavuus ominaisuuksia saadaan muutettua aineen seostuksella, kuten kuvassa 2 näkyy, kun taas messinkiä kylmämuokkaamalla saadaan parannettua kovuutta, sitkeyden huonontuessa (Silvennoinen, S. 2001, 24-27).

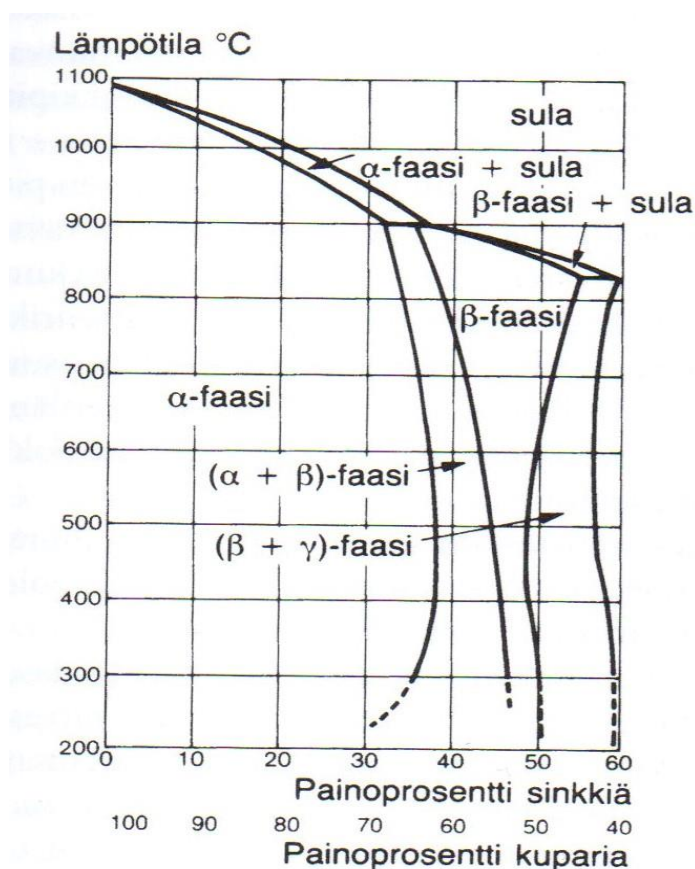
Seos	Kuumamuokattavuus	Kylmämuokattavuus
Kuparit		
Cu-OF	4	5
Cu-DLP	4	5
Cu-DHP	5	5
Messingit		
CuZn20	3	4
CuZn37	4	5
CuZn39Pb3	5	2
CuZn39Pb2	5	2
CuZn36Pb3	2	4
CuZn39Pb0,5	4	3
CuZn20Al2As	3	4
Tinapronssit		
CuSn6	3	4
Uushopeat		
CuNi12Zn24	2	4
Nikkelikuparit		
CuNi10Fe1Mn	3	4
Muokattavuus vertailu: 1 ei suositella, 2-3 tyydyttävä		
	3-4 hyvä, 5 erinomainen	

Kuva 2. Kuparien kuuma- ja kylmämuokattavuus



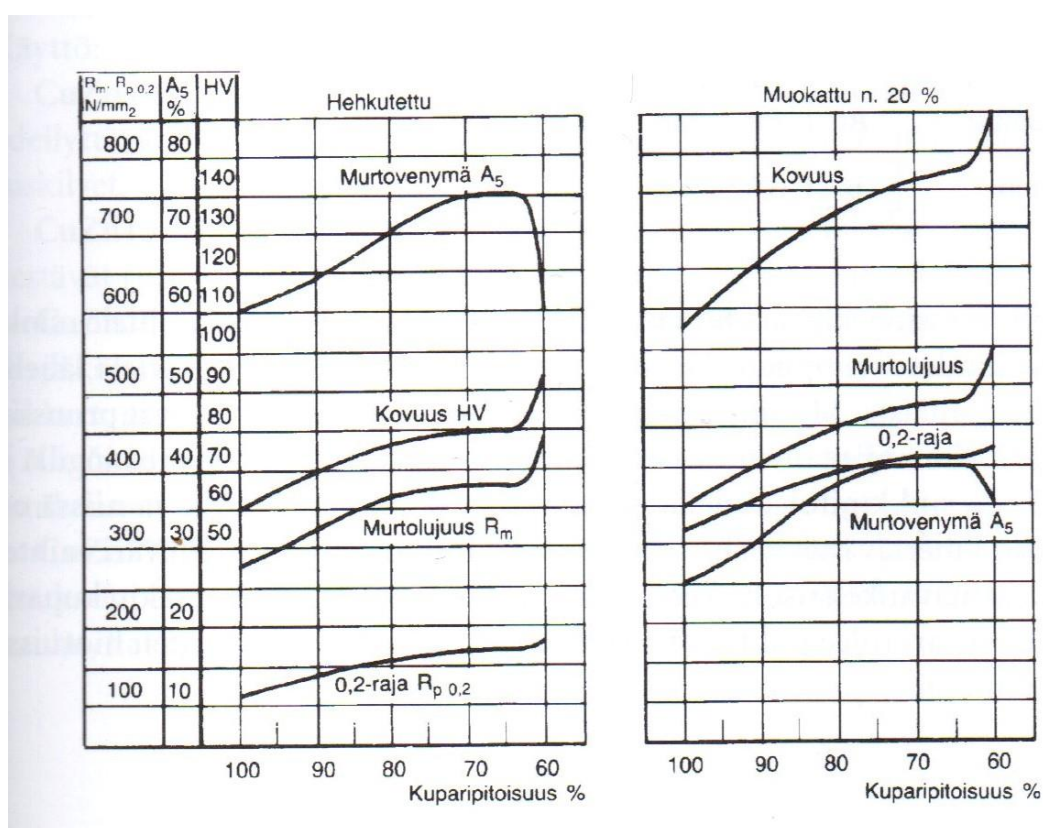
### 3.2 Seostamattomat messingit

Kuten kuvassa 3. näkyy, pysyy messingin rakenne kuparin kaltaisena yksifaasisena n. 38% sinkkipitoisuuteen saakka. Tästä syystä messingit, jotka ovat alfa ( $\alpha$ ) alueella, ovat hyvin muovattavissa varsinkin kylmänä. Tavallisimmin näitä messinkejä ovat erilaiset levyt ja nauhat. Alfamessinkien lujuus kasvaa sinkkipitoisuuden kasvaessa, kuten kuvassa 4. näkyy. Samalla, kun lujuus kasvaa niin kasvaa myös venymät. Messinki valitaan usein kuparin sijasta, koska sen lujuusominaisuudet paranevat muokatessa. (Silvennoinen, S. 2001, 25.)



Kuva 3. Kupari-sinkki tasapainopiirros

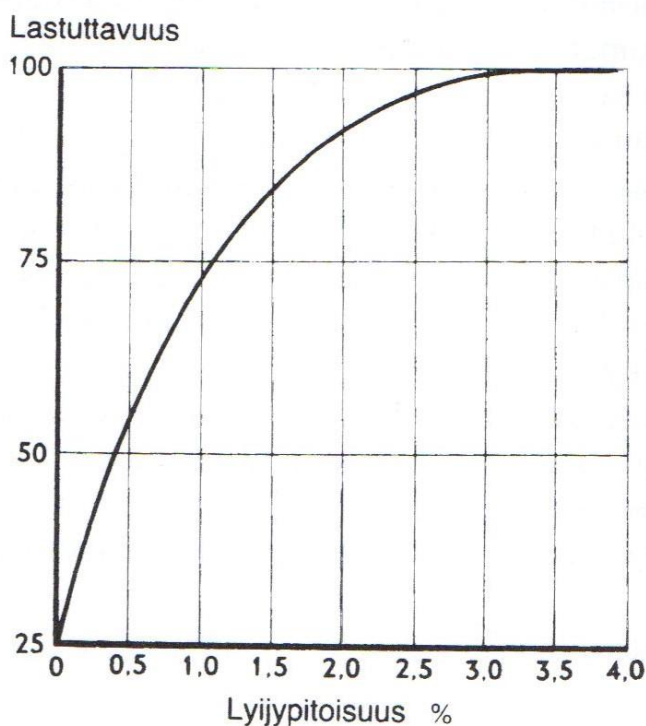
Yli 38% sinkkiä sisältävä messingissä alkaa ilmestyä toista kidelaatua,  $\beta$ -kidettä. Kun sinkkipitoisuus on alueella 38-45% on rakenteessa  $\alpha$  ja  $\beta$  faasia rinnakkain.  $\beta$ -faasin määrä kasvaa, kun sinkin määrä lisääntyy ja samalla kylmämuovattavuus huononee, mutta kuumamuovattavuus paranee.  $\beta$ -faasin määrän kasvaessa lujuus kasvaa, mutta sitkeys heikkenee. Faasirakenteen muuttuminen näkyy kuvasta 4. kasvaneena lujuutena samalla, kun venymäarvot pienenevät. Tämän seossuhteen kupareita käytetään, kun tarvitaan kuumamuovattavia messinkejä esim. kuumataontaan. Yli 45% sinkkiä sisältävä seos on sitkeytensä puolesta niin heikko, että sitä ei käytetä kaupallisten tuotteiden raaka-aineena. (Silvennoinen, S. 2001, 26.)



Kuva 4. Kuparipitoisuuden vaikutus lujuusominaisuuksiin messingissä

### 3.3 Lyijymessingit

Messinkien työstettävyydessä on eroja riippuen seoksesta. Lyijyn lisääminen messinkiin parantaa kappaleen lastuttavuutta. Alfa-messinkien lastu on sitkeää ja pitkää, kun taas ( $\alpha+\beta$ )-messinki on helpompaa lastuttavaa hauraan ja kovan  $\beta$ -faasin ansiosta. Lyijyä lisätessä seokseen, se ei liukene kupariin, eikä sen seoksiin, vaan jää rakenteeseen pieninä sulkeumina. Sulkeumien sopiva koko ja tasainen jakautuminen vaikuttaa niin, että lastu katkeaa lyhyenä sekä tehokkaasti. Lyijyn vähäinen määrä, jopa 0,2%, vähentää jäysteen muodostusta merkittävästi, lyijyn määrän vaikutus lastuttavuuteen on esitetty alla, kuvassa 5. Jo 0,5% lyijyn lisäys parantaa lastuttavuutta, eikä häiritsevästi haittaa muovattavuutta. Jos ainetta halutaan kuumamuovata, lisätään seokseen 1-2% lyijyä. Terveydellisistä ja ympäristöllisistä syistä lyijyn käyttöä pyritään kuitenkin koko ajan vähentämään. (Silvennoinen, S. 2001, 28.)



Kuva 5. Lyijyn vaikutus  $\alpha$ -messingin lastuttavuuteen

Lyijymessingeissä sinkkimäärät vaihtelevat 35-43% välillä, kun lyijypitoisuus vaihtelee 0,5-4% välillä (Silvennoinen, S. 2001, 28).

### 3.4 Erikoismessingit

Erikoismessingeissä on haettu ominaisuuksien parannusta lisäseostuksella ja yleensä tällä pyritään parantamaan kulumiskestävyyttä, lujuutta tai korroosionkestävyyttä. Euroopassa erikoismessinkejä on standardoitu yhteensä 24. Tavallisesti lujuutta lisäämään käytetään seosaineena alumiinia, mangaania tai rautaa. Lisäaineilla saadaan myös parannettua kulutuskestävyyttä, jolloin äskeitä lisäksi otetaan mukaan usein myös piitä. Tina ja alumiini parantavat messingin korroosionkestävyyttä, kun taas arseeni ja antimoni parantavat sinkkikadonkestävyyttä alfa-messingeillä. (Silvennoinen, S. 2001, 30.)

### 3.5 Valumessingit

Messingin valinta valuaineeksi perustuu samoihin perusominaisuuksiin kuin messingin käyttö muokattuna metallina. Verrattaessa messinkiä muihin valettaviin kuparimetalleihin, on messinki halvempaa ja sen valettavuus on hyvä. Messingillä on kuparien perusominaisuudet: sähkönjohtavuus, hyvä korroosionkesto, epämagneettisuus, kohtuullinen lujuus ja väri. (Silvennoinen, S. 2001, 43.)

Standardisoiduilla messinkilajeilla on seosaineet valittu huolella antamaan halutut ominaisuudet käyttökohteisiin. Yleisin seosaine on lyijy, jota on lisätty 1-3% lisäämään lastuttavuutta koneistuksen helpottamiseksi. Kuitenkin lujissa erikoismessingeissä lyijyä on yleensä enintään 0,5%, koska lyijy heikentää iskusitkeyttä. Tavallisia seosaineita ovat: alumiini, rauta ja mangaani. Alfa-messinkeihin lisätään mm. antimonia ja arseenia sinkkikadon estämiseksi. (Silvennoinen, S. 2001, 43.)

CuZn33Pb2 on keskipako- ja hiekkavaluun soveltuva messinki, joka sisältää lyijyä. Seoksen lujuus on kohtalainen murtolujuuden ollen yli 180 N/mm<sup>2</sup>. Lastuttavuus ja valettavuusominaisuudet ovat hyvät. Vedenkestävyys tyydyttävällä tasolla ja sinkkikadon kestävyttä voidaan parantaa arseenilisällä. Tämän seoksen korkein lämpötila käyttövedessä on 90°C. Käyttökohteita kohtuullisen paineenalla olevat rungot, hanat ja putkiliittimet. (Silvennoinen, S. 2001, 43.)

CuZn39Pb1Al seos sisältää alumiinia sekä lyijyä. Seos sopii mm. kokilli- ja painevaluun. Edellä mainitut tavat vaativat hieman eri seokset. Tämä seos on jonkin verran taipuvainen sinkkikatoon, mutta on valumessingeistä halvin. Käytetään mm. rakennusheloissa sekä kiinnikevalmistuksessa. (Silvennoinen, S. 2001, 43.)

### 3.6 DZR messinki

DZR messinki, nimikkeeltään CuZn36PbAs, on sinkkikadon kestävä messingin erikoisseosta. Kyseistä seosta voidaan pitää alfa-messinkinä, koska sopivalla kuuma- ja välihehkutuksella rakenteeseen ei jää beta-faasia. Seosta on tästä johtuen hyvä kylmämuovata. Seoksen lyijypitoisuus on noin 2,5%, mutta se vastaa lastuttavuudeltaan suuremman lyijypitoisuuden seoksia. Seos on alfa-messinkiä ja 0,08% arseenilisällä se saadaan sinkkikadon kestäväksi. Sinkkikadon kestävyden säilymisen kannalta on tärkeää, että jatkokäsittelyssä ei ole kuumennuksia, joissa lämpötila ylittää 325°C, koska tämä voi pilata seoksen rakenteen. Mikäli kappale on tehty kovajuotteesta, ei lyhytaikainen kuumennus aiheuta muutoksia. (Silvennoinen, S. 2001, 29.)





## 4 LÄMPÖKÄSITTELY

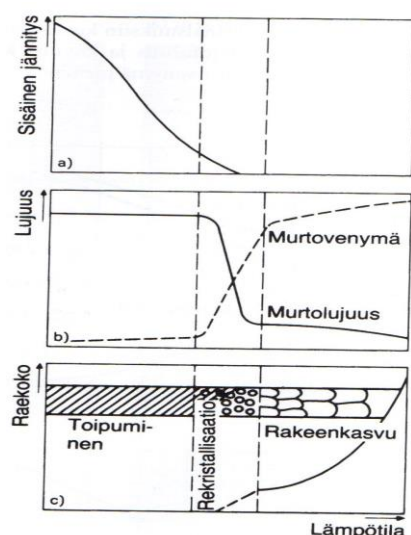
Kuparin ja monien kupariseosten sisäinen rakenne on teräsiin verrattuna suhteellisen yksinkertainen. Tästä johtuen kuparin raerakenne on erityisen sopivaa muovattavaksi sekä kylmänä että kuumana ja muokkaukseen liittyvät hehkutukset ovat kuparimetallien lämpökäsittelyn tärkein osa. (Silvennoinen, S. 2001, 71.)

Tässä opinnäytetyössä keskitytään lämpökäsittelyn osalta messingeille olennaisimpiin käsittelytapoihin:

- Pehmennyshehkutus eli rekristallisaatiohehkutus ja
- Jännityksenpoistohehkutus eli päästöhehkutus

### 4.1 Pehmennyshehkutus

Kuparimetallista tuotteita valmistettaessa ja asentaessa on kylmämuovaus yleinen työtap. Tämä kylmänä tapahtuva käsittely ei muuta paitsi materiaalin muotoa, vaan vaikuttaa myös lujuusominaisuuksiin ja sisäiseen rakenteeseen. Tästä seuraa usein tarve poistaa kylmänä tapahtuneen muokkauksen jännitykset ja tästä aiheutuneet raerakenteen muutokset. Hehkutuksessa kappaleen sisäiset jännitykset, raekoko ja lujuus muuttuvat, kuten kuva 6. alla osoittaa. Lopputulokseen vaikuttaa hehkutukseen käytetty aika ja lämpötila. (Silvennoinen, S. 2001, 71-73.)

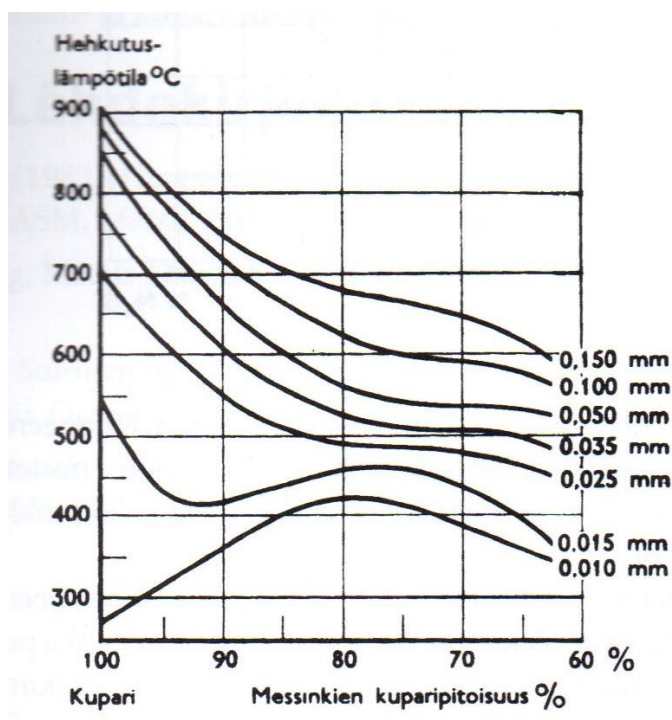


Kuva 6. Hehkutuksessa tapahtuvat muutokset



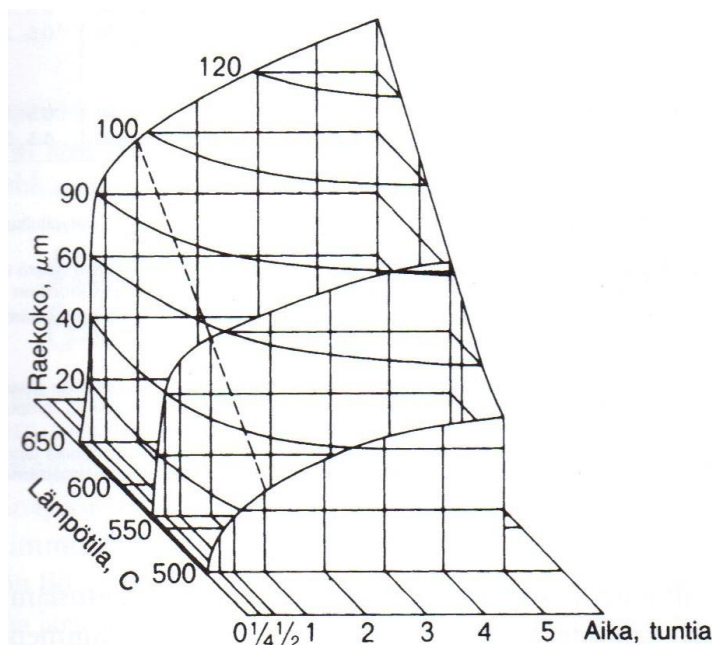
Hehkutettaessa alemmissa lämpötiloissa, saadaan toipumisilmiön vaikutuksesta jännitykset pienenevään, lujuuden säilyessä samalla lähes muuttumattomana. Lämpötilojen kasvaessa korkeammiksi rakenne alkaa uudelleenmuotoutua. Rakenteen uudelleenmuotoutumisen aikana aineen murtolujuus, venymäraja ja kovuus pienenevät, mutta murtovenymä kasvaa. Tätä ilmiötä kutsutaan rekristallisaatioksi tai uudelleenkiteytymiseksi. Tämän ilmiön saa aikaan energia, joka on varastoitunut rakenteisiin kylmämuokkauksesta tulevista jännityksistä. (Silvennoinen, S. 2001, 73-74.)

Lämpötilaa edelleen nostettaessa ja rekristallisaatioalueelta poistuttaessa, osa rakeista jatkaa kasvamista muiden rakeiden kustannuksella. Tätä kutsutaan rakeenkasvuksi ja kuten kuvasta 6. näkyy, se aiheuttaa pieniä lujuusominaisuuksien muutoksia. Verrattuna rekristallisaatioon, rakeenkasvu on paljon hitaampi tapahtuma, koska rakenteeseen vaikuttavat varastoituneet energiat ovat pienempiä kuin kylmämuokkauksesta tulleet. Tätä energiaa kutsutaan raerajan pintaenergiaksi ja se vapautuu, kun raerajapinta pienenee rakeiden kasvaessa. Kuvassa 7. esitetään kuparipitoisuuden vaikutusta raekokoon hehkuttaessa. (Silvennoinen, S. 2001, 74.)



Kuva 7. Messingin hehkutuksessa saavutettava raekoko lämpötilasta riippuen

Pehmennyshehkutuksella haetaan pehmeyttä ja sopivaa raekokoa. Lopputulos on paljolti riippuvainen aineen rakenteesta, koostumuksesta sekä kylmämuokkausasteesta, myös hehkutusaika ja -lämpötila vaikuttavat. Kuvassa 8. hehkutusaajan ja -lämpötilan vaikutus raekokoon. Materiaalin ominaisuuksiin voidaan vaikuttaa kylmämuokkausastetta, hehkutusaikaa ja -lämpötilaa muuttelemalla. (Silvennoinen, S. 2001, 75-77.)



Kuva 8. Hehkutusaajan ja -lämpötilan vaikutus CuZn30 raekokoon

#### 4.2 Jännityksenpoistohehkutus

Jännityksenpoistohehkutus eli päästöhehkutus on varsinkin messingeille suoritettavaa lämpökäsittelyä. Tavallisesti tätä tapaa käytetään messingeille poistamaan taipumusta jännityskorroosioon. Taulukossa 5. esitetty hehkutusaikoja ja -lämpötiloja. Jos messinkiä käytetään jousimateriaalina, voidaan niiden taivutuskimmorajaa eli jousi ominaisuuksia parantaa päästöhehkutuksella. Ilmiö perustuu jäännösjännitysten laukaisemiseen ja atomirakenteessa tapahtuvaan uudelleenjärjestäytymiseen. Jännityksenpoistohehkutus tulee tehdä sellaisessa lämpötilassa ja tietyllä pitoajalla, että aineessa ei tapahdu uudelleenkiteytymistä ja täten uusia rakeita ei pääse muodostumaan. Näin ollen lujuus pysyy melko lailla muuttumattomana. (Silvennoinen, S. 2001, 78-79.)



## 5 KORROOSIOMUODOT

Kuparimetallien ja -seosten korroosionkestävyys on hyvä maassa, vedessä ja ilmassa. Tämä johtuu siitä, että kupari on jalo metalli ja se reagoi vähäisesti ympäristön kanssa. Kuparin korroosiokestävyys verrattuna muihin metalleihin onkin hyvä, kuten alla olevassa taulukossa 6. todetaan. Kuparit, kuten muutkin aineet, saattavat syöpyä, jos niiden olosuhteet ovat epäedulliset. Kuparin ja messingin tapauksessa se tarkoittaa usein, että veteen on liennut happea. Muita ominaisuuksia, jotka johtavat korroosioon ovat: lämpötila, kuormitus ja kemialliset yhdisteet. Syöpymistavan ja -syiden perusteella erotellaan erilaiset korroosiot. (Silvennoinen, S. 2001, 139.)

Taulukko 6. Korroosionkestävyysvertailu eri metallien kesken

Materiaali	Korroosionkestävyys			Selektiivinenkorroosio
	Yleiskorroosio	Jännityskorroosio	Pistekorroosio	
Valurauta	Huono			Erinomainen 1)
Teräs	Huono			
Ruostumaton teräs	Hyvä-erinom.	Erinomainen 1)	Erinomainen 1)	
Alumiiniseokset	Hyvä-erinom.	Hyvä 1)6)	Hyvä 1)2)	Erinomainen 3)
Magnesiumseokset	Hyvä-erinom.		Hyvä 1)2)	
Kupariseokset	Hyvä-erinom.	Hyvä 4)	Hyvä	Erinomainen 5)
1) Huono kloridipitoisessa ympäristössä				
2) Huono galvaanisen korroosionkestävyys				
3) Huono AlCuMn- ja AlZnMg-seoksilla				
4) Huono ammoniumyhdisteissä				
5) Huono sinkkikatoon taipuvaisilla messingeillä				
6) Käytännössä jännityskorroosiovaara on vain AlZnMg- tai AlCuMg- seoksilla				

### 5.1 Jännityskorroosio

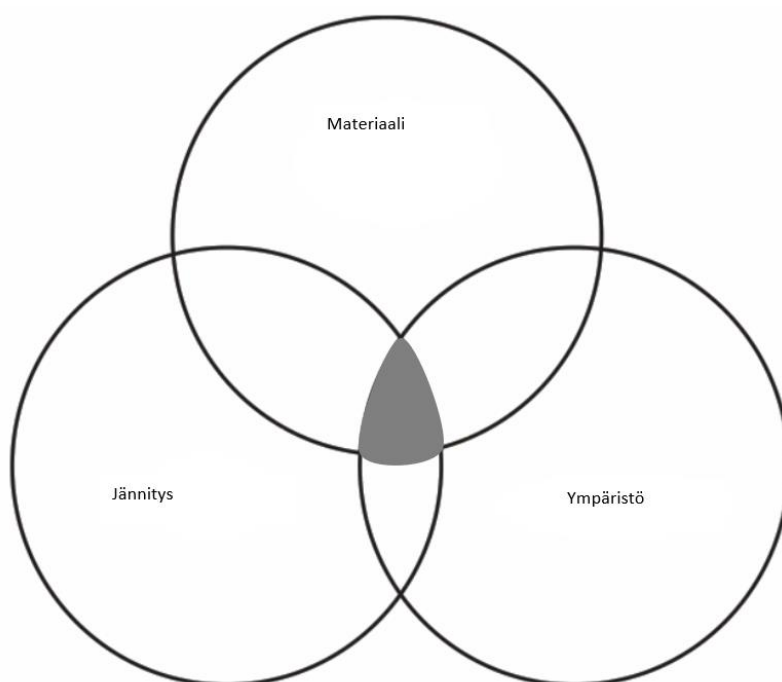
Suomen standardisoimisliiton mukaan:

“Jännityskorroosiomurtuminen on metallissa korroosion ja joko käyttöjännityksinä tai sisäisinä jännityksinä esiintyvien vetojännitysten aiheuttama murtuminen” (Suomen standardisoimisliitto 2009, 158).

Jännityskorroosioksi (stress corrosion cracking, SCC) kutsutaan ilmiötä, kun materiaali hitaasti, ympäristön ja jännityksen vaikutuksesta halkeaa. Tämä johtuu aineen sisäisistä jännityksistä sekä korroosiosta. Jännityskorroosion aiheuttamisen vaatimat

jännitykset ovat usein pieniä ja usein jännitykset ovat jäännösjännityksiä kappaleessa. Myös ulkoiset jännitykset vaikuttavat, mutta vähemmissä määrin. (V. S. Raja & Tet-suo Shoji 2011 4-6.)

Jännityskorroosiomurtuman aiheuttaa materiaalin, jännityksen ja ympäristön yhteisvaikutus, kuten kuvassa 9. näkyy. Myös materiaalin käsittelyssä aiheutuneet virheet (laatu) ja alimitoitettut kappaleet vaikuttavat, kuten myös ympäristö. Ympäristön vaikutukset voivat olla kemikaalit ja lämpötila. (Russell H. Jones 1992 211-214.)



Kuva 9. Jännityskorroosion päätekijät

Jännityskorroosiossa kappale repeää hauraasti eli ilman pysyvää plastista muodonmuutosta. Tämän tyyppistä korroosiota voi ilmetä tietyistä kuparimetalleista valmistetuista tuotteista. Tämä edellyttää, että tietty kriittinen vetojännitys on ylitetty ja kappale on samaan aikaan syövyttävässä ympäristössä esim. kosteus, ammoniakki tai elohopea. Kappaleeseen vaikuttavat vetojännitykset voivat olla ulkoisia tai sisäisiä jännityksiä, jotka voivat olla peräisin edellisistä muokkauksista. Se, mikä on kriittinen raja, jotta jännityskorroosiota pääsee esiintymään, riippuu syövyttävän ympäristön laadusta ja aineen koostumuksesta. (Silvennoinen, S. 2001, 141.)

Eri kuparimetallien jännityskorroosiokestävyys on hyvin erilainen, kuten taulukosta 7. näkee. Kuparissa jännityskorroosio on harvinainen, mutta runsassinkkisessä messin-  
gissä yleisempi. (Silvennoinen, S. 2001, 142.)

Taulukko 7. Kuparimetallien korroosion kestävyys

Seos Nimike	Jännitys- korroosio	Selektiivinen- korroosio	Eroosio- korroosio
<b>Muokatut kuparimetallit</b>			
Cu-OF	5	5	1
Cu-DLP	5	5	1
Cu-DHP	5	5	1
CuZn20	4	4	2
CuZn37	2	2 (4) 1)	3
CuZn36Pb3	1	1	3
CuZn39Pb0,5	1	1	3
CuZn39Pb2	2	4	3
CuZn39Pb3	1	1	3
CuZn20Al2As	3	4	4
CuSn6	4	5	4
CuNi12Zn24	4	4	4
CuNi10Fe1Mn	5	5	4
Korroosionkestävyys paranee 1-5			
5 merkitsee parasta kestävyyttä			
1) Suluissa tuotteet, joissa on arseenia			

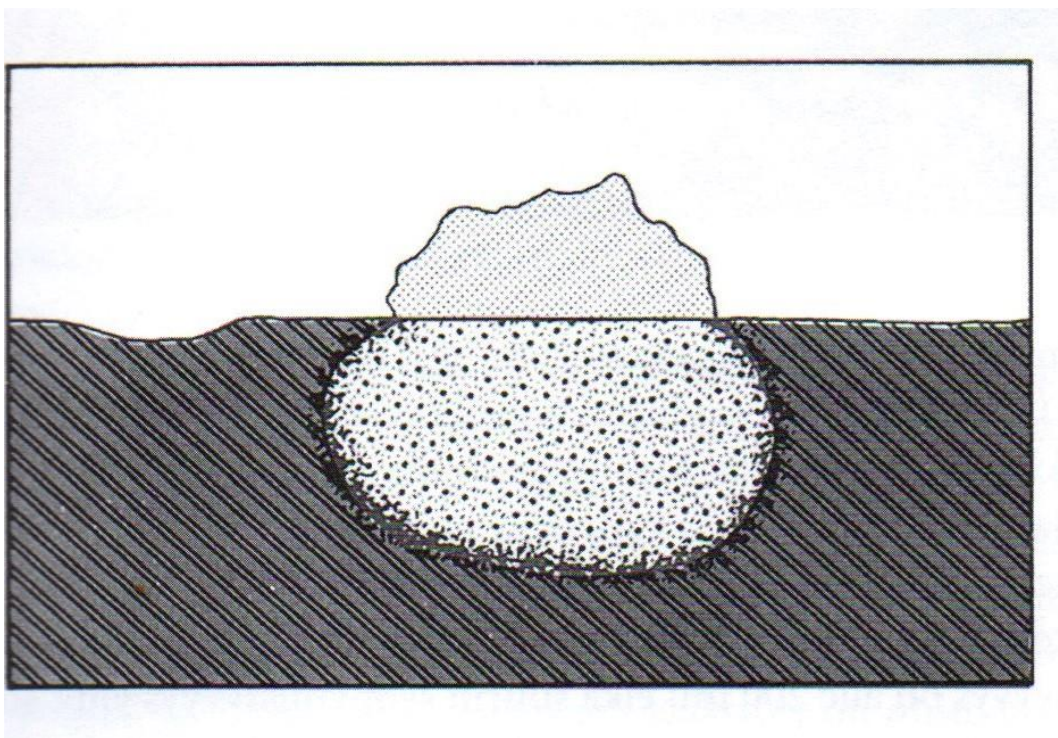
Usein jännityskorroosion syy on aikaisempi muokkaus ja tästä syntyneet sisäiset jännitykset. Nämä jännitykset ovat lämpökäsittelyllä poistettavissa, kuten esim. jännityksenpoistohehkutus tai pehmenyshehkutus. Pehmenyshehkutuksessa aine pehmenee täysin, kun taas jännityksenpoistohehkutuksella pehmeneminen on vähäisempää, mutta jännitykset saadaan vähenemään riittävästi. Valmiin tuotteen jännityskorroosiokestävyyttä voidaan arvioida standardisoiduilla pikakokeilla SFS-EN ISO 196 elohopeanitraattikoe ja SFS 3266 sekä SFS 3267 ammoniakkikoe. Standardi SFS 3265 antaa tarvittavat taustatiedot sopivan kokeen valintaan. Käytännössä kyseessä on useimmiten ammoniakkikoe, koska se vastaa paremmin käytännön olosuhteita syöpmisen osalta. (Silvennoinen, S. 2001, 142.)

Edellä mainitut SFS standardit on kumottu vuonna 2006.

Messinkituotteita käytetään moniin tarkoituksiin ja jännityskorroosion vaara vaihtelee suuresti. Valmistusketjun loppupäässä niistä pyritäänkin poistamaan vaaralliset jännitykset lämpökäsittelyllä tai muilla muokkaustavoilla. Tällä pyritään siihen, että jännityskorroosion vaara olisi myöhemmässä käytössä epätodennäköinen. Tuotestandeissa on messinkivalmisteiden kohdalla tarkemmin selvitetty, mikä koe soveltuu varmistamaan, että vaarallisia jännityksiä ei ole. (Silvennoinen, S. 2001, 142.)

## 5.2 Selektiivinen korroosio

Valikoiva korroosio eli selektiivinen korroosio tunnetaan myös sinkkikatona. Sinkkikato on messingeillä esiintyvä korroosiomuoto. Tämä esiintyy siten, että epäjalompi sinkki liukenee pois metallista ja jäljelle jää vain huokoinen kupari. Itse korroosiosta syntyvät tuotteet jäävät paikoilleen syöpymiskohtaan, kuten kuvassa 10. alla ja näin saavat aikaan toimintahäiriöitä. Sinkkikatoa ilmenee yleensä happipitoisessa vedessä ja sen voimakkuus lisääntyy veden lämpötilan noustessa. Myös veden koostumus, esim. kloridipitoisuus, vaikuttaa sinkkikadon voimakkuuteen. (Silvennoinen, S. 2001, 147.)



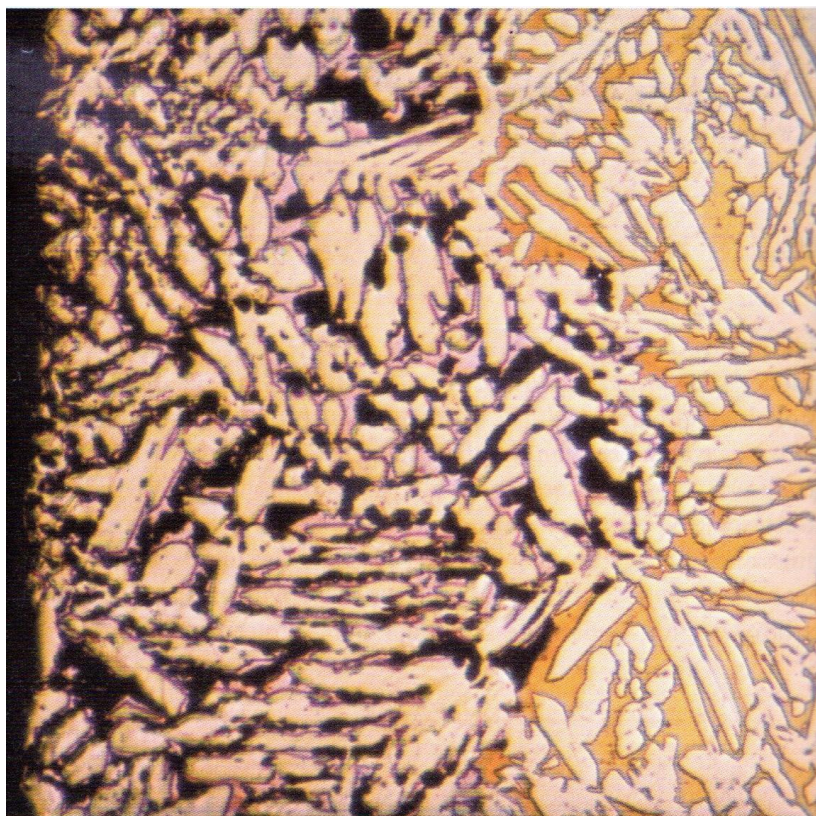
Kuva 10. Sinkkikato

Sinkkikadon vaara messingeillä on kuitenkin verrattain pieni, jos kuparipitoisuus on 85% tai yli. Sinkkipitoisuuden kasvaessa lisääntyy taipumus sinkkikatoon. Beta-faasista muodostuvilla paljon sinkkiä sisältävillä messingeillä on erikoisen suuri vaara sinkkikatoon. Beta-faasia alkaa esiintyä messingeissä kuparipitoisuuden ollessa noin 62%. Teoriassa rakenne on kokonaan beta-kidettä, kun kuparia on 55%. (Silvennoinen, S. 2001, 148.)



Messingin syöpmisen laajuuteen sinkkikadon seurauksena vaikuttaa alfa- ja beta-ra-  
keiden jakautuminen. Sinkkikadosta on ollut tapana erottaa pistemäinen, kerrokselli-  
nen ja juomumainen ilmenemismuoto (kuva 11). Alfa-faasin sinkkikatoa voidaan estää  
seostamalla messinkiin 0,02-0,06% arseenia, mutta myös antimonia ja fosforia on käy-  
tetty. Nämä aineet eivät kuitenkaan tehoa beta-faasissa, eikä ole tavattu keinoa tapaa  
estää beta-faasin syöpmistä, vaikka alumiinin ja tinan lisäämisellä on havaittu olevan  
jonkin verran vaikutusta. Alfa-messingeistä yleisimpiä Euroopassa standardisoituja  
ovat lauhdutinputkimateriaalina tunnettu CuZn20Al2As ja armatuureissa käytetty  
CuZn36Pb2As. (Silvennoinen, S. 2001, 148.)

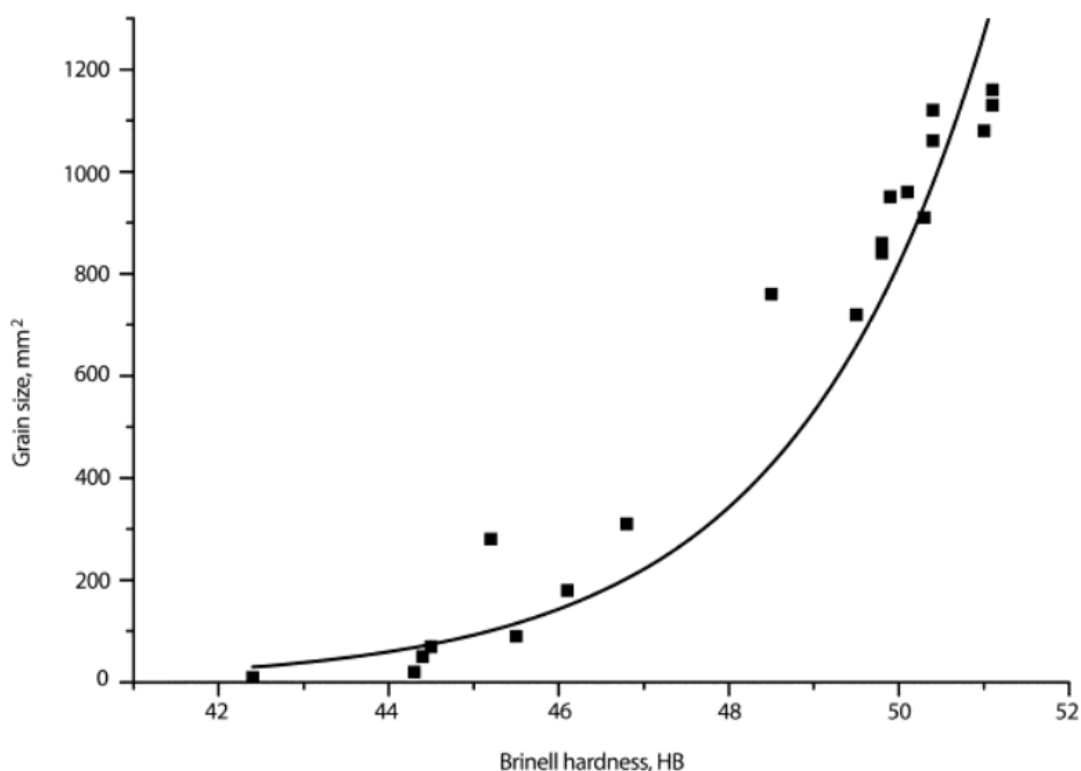
Yllämainituille aineille on määritelty standardisoitu koe sinkkikatokestävyyden var-  
mistamiseksi. Standardin EN ISO 650 mukaan, koe tehdään kuparikloridiliuoksessa  
75°C lämpötilassa. Koe on luonteeltaan kiihdytetty. Hyväksyttävä tulos on, jos sink-  
kikato on maksimissaan 400µm syvyydeltään ja keskimäärin 200µm. (Silvennoinen,  
S. 2001, 148.)



Kuva 11. Mikroskooppikuva sinkkikadosta, oikealla syöpymätön alue

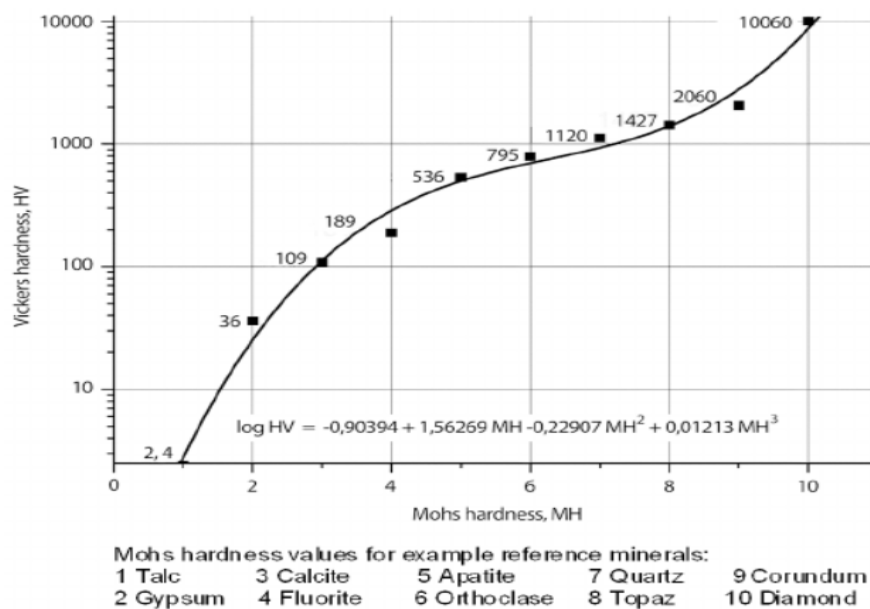
## 6 KOVUUSMITTAUS

Kovuus on materiaalin ominaisuus vastustaa muodonmuutosta, leikkautumista, kulumista ja naarmuuntumista. Materiaalia valitessa tulee harkita vaadittavia ominaisuuksia, koska suurta kovuutta ja sitkeyttä ei voida saada samaan tuotteeseen. Materiaalin kovuuteen vaikuttaa moni tekijä, kuten kylmämuokkaus, pintakäsittely, lämpökäsittely ja seostus. Yleensä metalliseoksilla on suurempi lujuus kuin puhtaalla metallilla. Tämä johtuu siitä, että molekyylitasolla tarkastellessa erilaiset ja -kokoiset molekyylit tarrautuvat paremmin toisiinsa kuin samanlaiset. Toinen kovuuteen vaikuttava tekijä on raekoko, kuvassa 12. havainnollistettu. Mitä pienempi raekoko, sitä suurempi on kovuus. (Konrad Herrmann 2011, 3-6.)



Kuva 12. Kovuuden suhde raekokoon kuparissa

Kovuutta voidaan mitata useilla eri tavoilla. Karkea, mineraaleilla käytetty Mohs:n asteikko on ollut käytössä vuodesta 1822 (kuva 13). Tämä 10 portainen luokittelu menee niin, että suuremman numeron omaava aine naarmuttaa edellistä. Asteikko ei ole tarkka, eikä tasavälinen ja se soveltuu huonosti nykyaikana käytettäväksi. (Konrad Herrmann 2011, 1.)



Kuva 13. Mohsin asteikko verrattuna Vickersiin

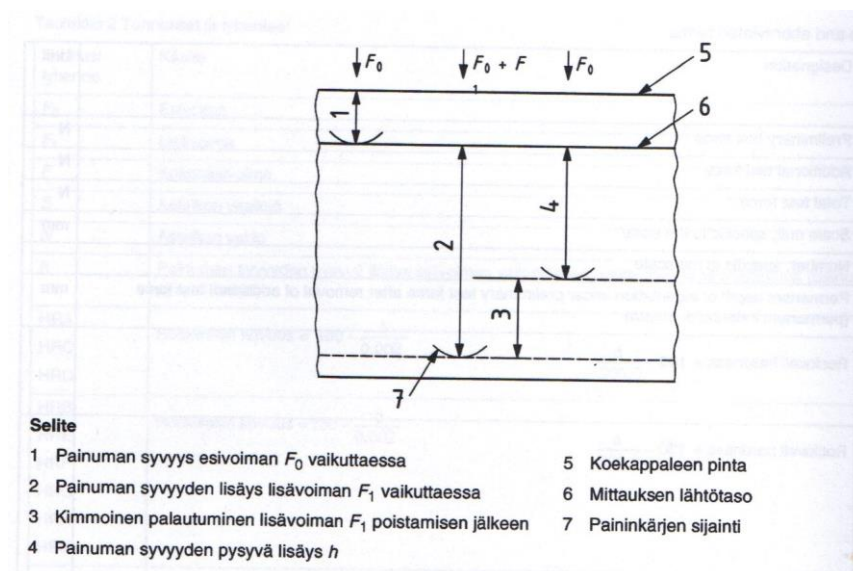
Kovuusmittaukset voidaan pääasiassa jakaa karkeasti staattisiin ja dynaamisiin testeihin. Eri testit soveltuvat erilaisiin kohteisiin ja eri käyttötarkoitusten arviointiin. Jokaisella mittaus tavalla on omat asteikkonsa ja monesti ne eivät ole toistensa kanssa verrannollisia saati lineaarisia. Tätä varten on luotu standardi kovuusarvojen muuntamiseksi. (Konrad Herrmann 2011, 9-10.)

Tässä työssä käsitellään staattisista testeistä Rockwell, Vickers, Brinell ja Knoopin kokeet sekä dynaamisista testeistä Leebin koe. Tarkoitus on myös käsitellä näistä saatujen kovuusarvojen muuntamista vertailtavaan muotoon.

## 6.1 Rockwell menetelmä

Rockwell on kovuusmittausmenetelmä, jossa käytetään joko timanttikartiopainin-kärkeä tai kovametallikuulakärkeä. Kärkien mitat on määritelty standardissa ISO 6508-2. Timanttikärjen kulma on  $120^\circ$  ja kärjen pyöristyssäde on 0,2mm. Kovametallikuulan mitat on määritelty samassa standardissa ja niiden mitat ovat joko 1,5875 mm tai 3,175 mm. Mittauksessa käytettävä voima vaihtelee käytettävän mittaustavan mukaan ja mittaustapa määräytyy kappaleen vahvuuden ja muiden ominaisuuksien perusteella.

Mittausta tehdessä kappaletta kuormitetaan aluksi paininkärkeä esivoimalla ilman tärinää, sykäyksiä enintään 3 s ajan (kuva 14). Lisävoima lisätään 1-8 s kuluessa testin alkamisesta, nämä yhdessä muodostavat kokonaisvoiman, joka vaikuttaa kappaleeseen  $4 \pm 2$  s ajan, jonka jälkeen lisävoima poistetaan samalla esivoiman jäädessä vaikuttamaan. Voiman ja kappaleen annetaan hetki palautua ja mitataan lopullinen kovuusluku. Kovuus mitataan painuman syvyyden pysyvistä muutoksesta. Jos kyseessä on voimakkaasti plastisesti muokkautuva aine, tulee tämä huomioida vaikutusajassa. (Suomen standardisoimisliitto 2007, 338-348.)



Kuva 14. Rockwell mittauseriaate

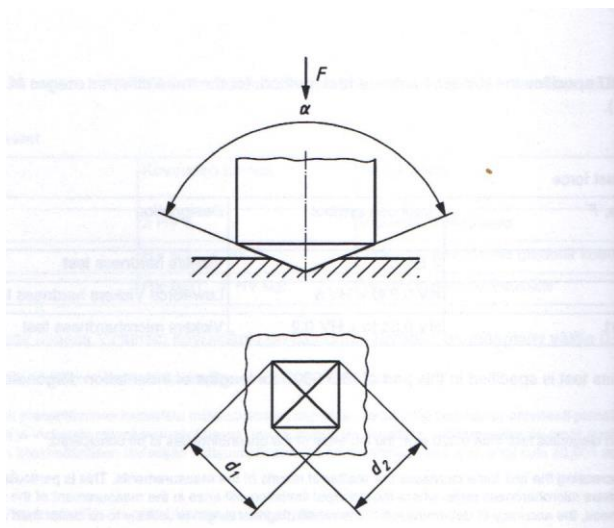
Kovuuskoe on tehtävä pinnalle, joka on tasainen ja sileä sekä puhdas voiteluaineista ja oksidihileestä. Koekappaleen pinta valmistellaan niin, että pinnan kovuus muuttuu mahdollisimman vähän. Tässä on hyvä ottaa huomioon erityisesti lämpötilat koekap-

paletta tehdessä, varsinkin pienillä painaumilla. Huomioitavaa on myös, että koekappaleen vastakkaiselle puolelle ei saa näkyä muodonmuutosta, poikkeuksena ohuet kappaleet. Kappaleen vahvuuden on oltava vähintään kymmenkertainen painuman pysyvään muutokseen verrattuna timanttikärjellä ja viisitoistakertainen kovametallikuulakärjellä. (Suomen standardisoimisliitto 2007, 344.)

Kovuustesti tehdään 10-35°C lämpötilassa. Koekappale tulee asettaa tukevalle alustalle kohtisuoraan paininkärjen akseliin sekä voiman vaikutus suuntaan nähden. Koekappale tulee sijoittaa niin, että sen siirtyminen on estetty. Mahdollisen lukituslaitteen tulisi olla standardin ISO 6508-2:2005 mukainen. Lieriömäiset tuotteet tulee tukea keskittävillä teräksisillä V-kappaleilla. Näiden tukikappaleiden rockwell-kovuus on oltava vähintään 60 HRC. Huomiota vaatii myös pitimen kiinnitys, linjaus sekä keskiytys. Nämä tulee suorittaa huolellisesti, koska poikkeamat keskilinjasta vääristävät tuloksia. (Suomen standardisoimisliitto 2007, 346.)

## 6.2 Vickers menetelmä

Vickers-kovuusmittausmenetelmä muistuttaa periaatteeltaan Rockwellin menetelmää. Kuten Rockwell, myös Vickersin testejä voidaan tehdä eri vahvuisille aineille. Neliön muotoinen timanttipyramidikärki, kuten kuvassa 15, jonka kylkien kulma on 136°, painetaan kappaleeseen tietyllä voimalla. Voiman poistuttua mitataan painuman lävistäjät mikroskoopilla. Painuman lävistäjät on määritelty välille 0,020-1,400mm standardissa ISO 6507. Voima lisätään Vickersin menetelmässä yhdellä kertaa ja vaadittu voima tulee saavuttaa enintään 8 s kuluessa painamisen aloittamisesta. Myös Vickersin kokeessa paininkärki asetetaan kohtisuoraan pintaa kohden ilman tärinää tai sykäyksiä. Koevoiman annetaan vaikuttaa 10-15 s, ellei materiaalin ominaisuudet muuta vaadi. (Suomen standardisoimisliitto 2007, 120-126.)



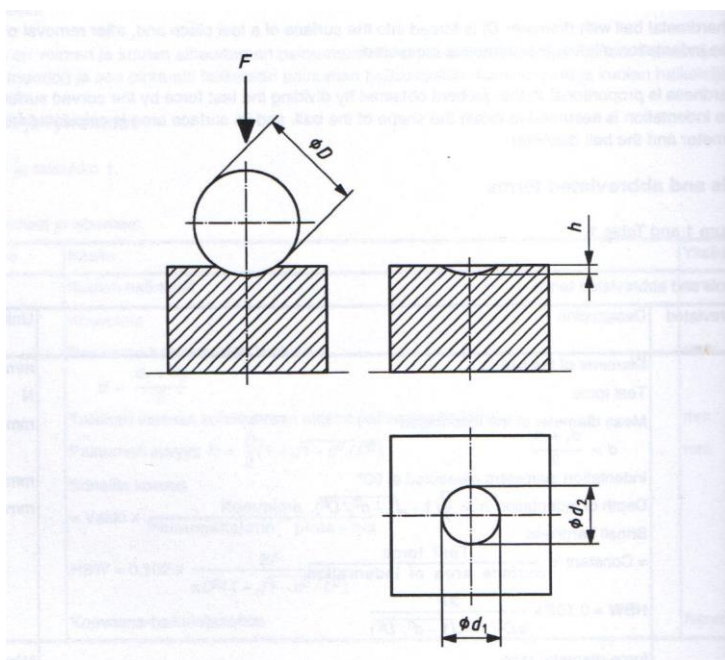
Kuva 15. Vickers mittausperiaate

Kovuuskoe tulee tehdä puhtaalle ja tasaiselle pinnalle. Pinnan tulee olla sileä ja puhdas oksidihileestä ja öljyistä, ellei toisin mainita. Pinnanlaadun tulee olla hyvä, jotta painuman mittaus voidaan tehdä tarkasti ja välttää virheitä. Koekappaleen valmistuksessa tulee huomioida työstötapa ja siitä aiheutuva lämpötila, jottei pintakovuus muutu liiaksi. Koekappaleen paksuuden on oltava 1,5 kertainen painuman lävistäjään nähden, eikä kokeen jälkeen vastapuolella saa näkyä muodonmuutosta. (Suomen standardisoimisliitto 2007, 124.)

Koe tulee tehdä samassa lämpötilassa, kuin Rockwell (10-35°C) ja tulee käyttää suositeltuja koevoimia. Kappale tulee asettaa vakaalle, tukevalle pinnalle, joka on puhdas kaikesta liasta. Koekappale tulee sijoittaa ja tarvittaessa tukea niin, ettei se pääse liikkumaan kokeen aikana, mikä voi olla erityisen tarpeellinen epämääräisen muotoisille tai pienille kappaleille. Jos kappaleessa on mitattavassa kohdassa kaarevia muotoja, tulee käyttää standardissa ISO 6507 olevia korjauskertoimia. Laitteen tulee ehdottomasti olla suojattu iskuilta ja tärinältä kokeen ajan. (Suomen standardisoimisliitto 2007, 124-126.)

### 6.3 Brinellin menetelmä

Brinellin menetelmä on, kuten Rockwell ja Vickers, staattinen kovuudenmittaus menetelmä. Kovuutta mitataan hyvin samanlaisella tavalla, kuin muilla käsitellyillä menetelmillä. Brinellin menetelmässä kappaleeseen painetaan kiillotettu kovametallikuula tietyllä voimalla, esimerkki kuvassa 16. Voiman poistamisen jälkeen mitataan kuulan aiheuttama painauman halkaisija. Painauman oletetaan säilyttävän kuulan muoto. Painauman pinta-ala lasketaan halkaisijoiden keskiarvosta ja kuulan halkaisijasta. Brinellin kovuus on kuulasta tulevan voiman aiheuttaman painaumakalotin pinta-alojen lukuarvon suhde. Käytettävät voimat vaihtelevat 9,8 N-29,4 kN välillä. Koevoima tulee valita niin, että painuman halkaisija on välillä 0,24-0,6 D. Kuulan tulee olla mahdollisimman suuri. (Suomen standardisoimisliitto 2007, 16-20.)



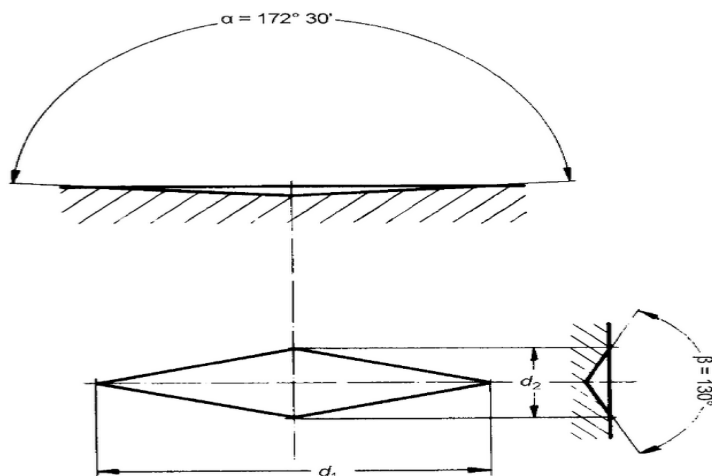
Kuva 16. Brinellin mittausperiaate

Koekappaleen on tässäkin mittauksessa oltava puhdas, sileä ja öljytön. Ympäröivä lämpötila 10-35°C astetta. Liiallista lämpeämistä koekappaletta valmistaessa tulee välttää, jotta lämpömuokkaus ei vaikuta pinnanlaatuun. Koekappaleen paksuus on oltava 8-kertainen painumaan nähden. Näkyvä muodonmuutos kappaleen toisella puolella voi merkitä, että kappale on liian ohut.

Kappale asetetaan jäykälle pinnalle tukevasti ja puhdistetaan vieraista aineista. On ehdottoman tärkeää, että kappale tuetaan hyvin ja se ei pääse liikkumaan kokeen aikana. Koevoima saavutetaan 2-8 s ja sen vaikutusaika on, aineesta riippuen, 10-15 s. (Suomen standardisoimisliitto 2007, 20.)

#### 6.4 Knoopin menetelmä

Knoopin menetelmä on suhteellisen harvinainen Euroopassa, verrattuna yllämainittuihin menetelmiin. Menetelmä muistuttaa Vickersin menetelmää ja usein Knoopin koe voidaan suorittaa Vickersin laitteilla, Vickersin testin pienimmän luokan voimilla. Vickers käyttää pyramidin muotoista kärkeä Knoopissa käytetään timantin muotoista kärkeä, kuten kuvassa 17. (Konrad Herrmann 2011, 62-63.)



Kuva 17. Knoop testissä käytetty kärki

Vaikka kyseessä on harvinaisempi menetelmä, on sillä omat etunsa. Menetelmällä onnistuu erittäin kovan ja hauraan aineen testaus, kun sama kappale Vickersin testissä halkeaisi. Knoopin testillä pystytään myös testaamaan paljon pienempi kappaleita, kuin Vickersillä. (Konrad Herrmann 2011, 64.)



## 6.5 Leebin menetelmä

Leebin menetelmä eroaa edellisistä menetelmistä monella tavalla, koska kyseessä on dynaaminen menetelmäkoe. Dynaamisia testejä on kahdenlaisia, toisessa mitataan kappaleen muodonmuutosta, kuten staattisissa testeissä ja toisessa, Leebin testissä, mitataan kuulan nopeutta ennen ja jälkeen osumista kappaleeseen. Leebin menetelmällä on käytetyin kannettava menetelmä ja sillä on monta etua, verrattuna muihin menetelmiin. Suurimpina etuina voidaan mainita testerin koko. Leebin mittarit ovat pieniä ja tämä mahdollistaa testien tekemisen muuallakin kuin laboratoriossa ja samalla, kun testejä voidaan suorittaa kenttäoloissa, voidaan mitata suuriakin kappaleita, mittarin ollessa eri asennoissa. (Konrad Herrmann 2011, 68,78.)

## 6.6 Kovuusarvojen muuntaminen

Kovuuskokeessa materiaalia testataan ja määritellään mekaanisia ominaisuuksia, kuten kovuutta ja murtolujuutta, nopeasti ja vähäisesti vahingoittaen. Usein joudutaan tekemään johtopäätöksiä kovuuskokeiden perusteella murtolujuudesta, jos kappale ei sovellu vetokokeeseen tai sitä ei voida rikkoa. Kovuuskoe poikkeaa suuresti vetokokeesta kuormitukseltaan ja ei siksi ole mahdollista johtaa luotettavaa vastaavuutta näiden ominaisuuksien välille. Kokemuksen perusteella, kovuudella ja murtolujuudella, on hyvä korrelaatio ja siksi on mahdollista johtaa vastaavuuksia tiettyihin käyttötarkoituksiin. (Suomen standardisoimisliitto 2007, 450.)

Useimmiten tarve muuntoarvojen käytölle on verrata kovuutta toisella menetelmällä saatuun kovuusarvoon. Tämä on usein tarpeen, jos kappaleelle voidaan käyttää vain tiettyä menetelmää esim. pinnoitteesta tai näytteen koosta riippuen. (Suomen standardisoimisliitto 2007, 450.)

Kovuusarvojen muuntaminen murtolujuudeksi tekee murtolujuuden määrittämisen kovuuskokeen perusteella mahdolliseksi. Huomioitava on kuitenkin, että tämä on vähiten luotettava muunnosmenettely. (Suomen standardisoimisliitto 2007, 450.)

Muunnostaulukoita käytettäessä kovuudesta toiseen tai kovuudesta murtolujuuteen tulee huomioida epävarmuudet. Laajojen tutkimusten perusteella on huomattu, että ei ole mahdollista tehdä kovuusmittausmenetelmien välisiä muuntovastaavuuksia, vaikka kokeet olisivat kuinka huolellisesti tehtyjä. Suurin syy tähän on materiaaliin tulevan painauman ja kimmoisuuden välillä olevasta monimutkaisesta riippuvuudesta. Tuloksia saadaan hieman tarkemmaksi vakioimalla koeolosuhteet ja kuormitustapa. (Suomen standardisoimisliitto 2007, 450.)

Liitteessä 1. on lueteltuina messingin kovuusmuuntoarvot. (Suomen standardisoimisliitto 2007, 540-545.)

## 7 KOVUUSMITTAUKSEN SUUNNITTELU KAPPALEELLE

### 7.1 Mittausmenetelmien kartoitus

Tarkoituksena on ollut tutkia erilaisia kovuusmittausmenetelmiä ja valikoida niistä parhaiten Oraksen käyttötarkoitukseen sopiva. Mittaustapoja on monia ja ne kaikki soveltuvat omalta osaltaan johonkin kohteeseen parhaiten. Tässä tapauksessa on ollut tarkoitus etsiä paras mahdollinen kompromissi. Lähtökohtana on mitata kovuutta ja tätä kautta varmistua valmiin kappaleen laadusta. Koska osa tuotteista ostetaan alihankintana, ei voida aina olla varmoja valmistustavasta ja siten tuotteen ominaisuuksista.

Mitattavat kappaleet ovat usein pieniä, vaikean muotoisia ja epäsymmetrisiä kappaleita. Näiden kappaleiden kovuuden mittaaminen ei ole aina helppoa, varsinkaan laitteilla, jotka käyttävät suurta voimaa kappaleen pintaan. Myös hieen valmistus staattista kovuusmittausta varten on mahdotonta valmiista kappaleesta ja raaka-aineen saanti hietä varten ei palvele lopputulosta, koska valmis tuote on käynyt läpi erilaisia lämpökäsittelyitä esim. kuumapuristettu tai hehkutettu, ja näin ollen sen rakenne on muuttunut alkukohdasta.

Oraksella on jo valmiiksi käytössä työkaluvalmistuksessa Leebin dynaaminen kannettava kovuusmittari TH-170.

Taulukossa 8. on mitattu kalibrointikappaletta tarkkuuden toteamiseksi. Kappaleen nimelliskovuus on 59HRC ja testissä suoritettiin 10 mittausta eri kohdista. Kaikki mitaukset ovat hieman alle nimellisarvon, mutta eivät häiritsevästi. Kaikkien 10 testien keskiarvo oli 58,36 ja tarkkuus  $\pm 1,11\%$ .

Taulukko 8. Kovuusmittarin tarkkuustesti

Kovuusmittarintarkkuustesti			
Testikappaleen nimelliskovuus 59HRC			
1	58.2	58.2	
2	58.4	58.4	
3	58.9		
4	58.5	58.5	
5	58.3	58.3	
6	58.1	58.1	
7	58.7	58.7	
8	57.6		
9	58.5	58.5	
10	58.4	58.4	
KA	58.36	58.38	
Tarkkuus	1.11	0.51	±%

Kovuusmittauksia pitäisi lukea tilastollisesti, eikä yksittäiset mittaukset ole absoluuttisen tarkkoja. Mittauksista voidaan jättää sivuun korkein ja matalin tulos, eikä se juurikaan vaikuta keskiarvoon, mutta tarkkuus parani  $\pm 0,51\%$ . Tästä voidaan todeta kovuusmittarin riittävä tarkkuus.

Leebin mittaria voidaan pitää hyvänä kompromissinä, kun vaaditaan pientä kokoa ja helppokäyttöisyyttä. Mittari on kannettava ja sillä voidaan mitata isoja sekä pieniä kappaleita. Perinteiset staattiset kovuusmittarit, kuten esim. Rockwell ja Vickers vaativat näytekappaleen eli hieen. Hie on pieni kappale tiettyä raaka-ainetta, jonka pinta on erittäin sileäksi hiottu. Hieen koko on yleensä vain muutamia senttimetrejä. Oman haasteensa hieen tekoon valmiista kappaleesta tuo seinämävahvuudet. Monissa kappaleissa seinämän vahvuus on vain muutamia millimetrejä ja kappaleet ovat pieniä, joten niistä ei saada irrotettua erillistä näytepalaa. Lisäksi kappaleiden pyöreyydet aiheuttavat haasteita, etenkin staattisille kovuusmittauksille.

Näytekappaletta eli varsinaista hietä ei Oraksen tapauksessa ole aina edes mahdollista tai mielekästä valmistaa, koska yleensä halutaan tutkia valmiiden tuotteiden kovuuksia. Nämä tuotteet ovat usein voineet käydä läpi monta prosessia, kuten kuumapuristus, koneistus tai hehkutus, eikä raaka-aineesta valmistetun näytteen perusteella saada tietoa lopputuotteen kovuuksista. Vaikka staattisella kovuusmittauksella luultavasti

päästäisiin tarkempiin mittaustuloksiin, voidaan kuitenkin todeta, että kyseinen mittari on paras vaihtoehto näihin tarvittaviin mittauksiin.

Kovuustesteistä suoritettiin Gage R&R tutkimus, joka laskee mittausten muuttujat sekä tarkkuuden, huomioiden mittaajasta ym. johtuvat vaihtelut. Tällä kokeella voidaan todeta mittauksen riittävä tarkkuus. Gage R&R eli vaihtelu R&R (repeatability & reproducibility) tutkimus, jossa määritellään vaihtelumäärä, mikä tulee mittausjärjestelmän virheestä ja virheiden kokonaisnettovaikutuksen kaikista vaihteluista.

Mittaussysteemi voidaan jakaa kahteen luokkaan

- Tarkkuus (accuracy) kuvaa eroa mittausten välillä (keskiarvo)
- Täsmällisyys (precision) kuvaa vaihtelua, kun mitataan samaa osaa useita kertoja samalla laitteella

Kuvassa 18. olevaan gage R&R tutkimukseen otettiin 10 messinkikappaletta. Jokainen kappale mitattiin kolmeen kertaan ja mittaajia oli kaksi. Kuvan tulokset on laskettu minitab-ohjelmalla.

Components of variation kohdasta voidaan lukea vaihtelutekijöiden osuudet mittaus-tuloksista. Toistettavuuden halutaan olevan mahdollisimman pieni, koska tällöin mit-talaite itsessään on tarkka, hyvänä arvona pidetään alle 10%. Suurin vaihtelu mittauk-sissa tuli osien välisistä vaihteluista. Tämä tarkoittaa, että systeemi pystyy erottele-maan eri osia. Osien vaihtelun halutaankin olevan mahdollisimman suuri, kun taas tois-tettavuuden ja uusittavuuden halutaan olevan mahdollisimman pieni.

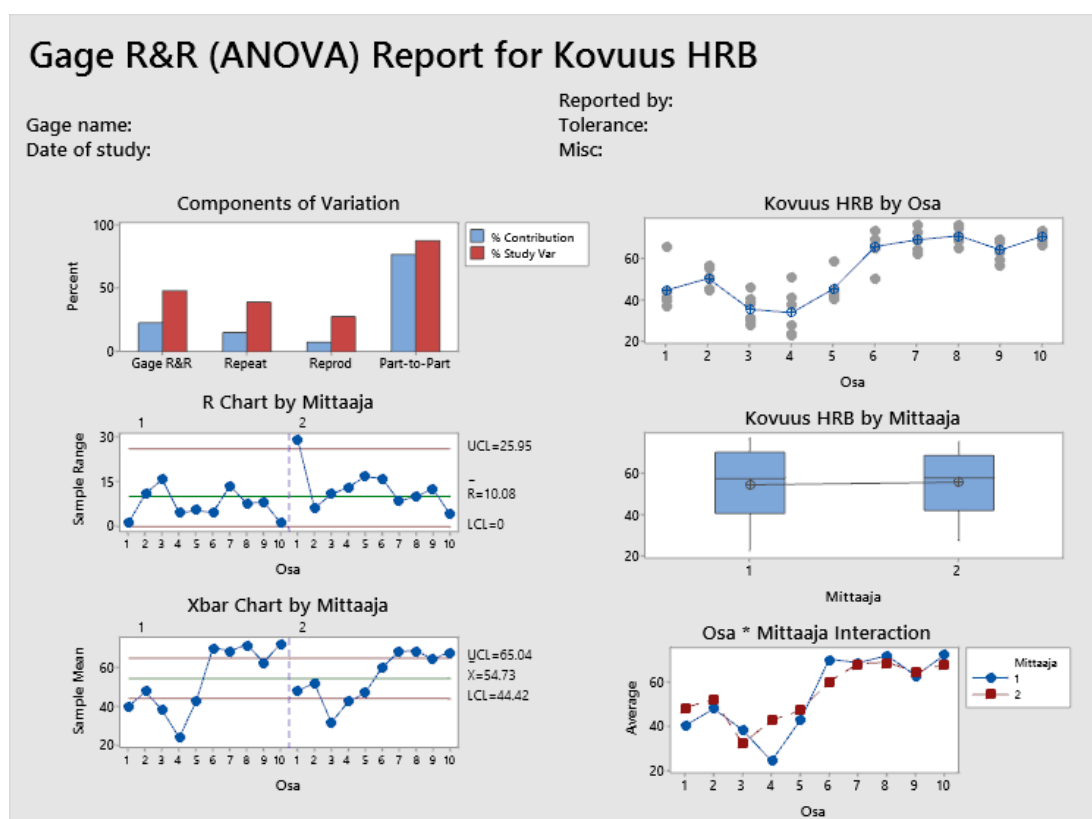
R Chart kuvasta nähdään keskimääräinen vaihtelu. Tämä vaihtelu on merkitty vihre-ällä viivalla. Vaihtelun pysyessä minitab-ohjelman laskemien punaisten viivojen vä-lissä, kertoo se hyvästä toistettavuudesta.

X Bar on laskettu eri kaavalla kuin R chart, vaikka kyseessä onkin samat tulokset. Minitab on laskenut tähän ohjausrajat, perustuen keskiarvoon ja toistettavuuteen. Tässä kaaviossa, ideaalitalanteessa, mahdollisimman moni mittaustulos on rajojen ul-kopuolella. Tämä kertoo, että systeemi pystyy erottelemaan moduuleita toisistaan.

Oikealla sarakkeessa on vertailtu hajontaa ja mittaajasta johtuvia vaihteluita. Ylimässä, oikealla sarakkeessa, on mittaustulosten hajonta ja keskiarvo molempien mittaajien tuloksista.

Keskellä, oikeassa sarakkeessa, on mittaajasta aiheutuva vaihteluväli. Keskellä kulkeva viiva on ideaali tilanteessa vaakasuorassa.

Alhaalla, oikeassa sarakkeessa, on vertailtu kappaleiden mittauskeskiarvoja mittaajien välillä. Mitä lähempänä toisiaan viivat ovat, sitä vähemmän on vaihtelua mittauksissa.



Kuva 18. Tulokset gage R&R tutkimuksesta

## 7.2 Mittauksien toteutus

Mittauksien toteutus perinteisin staattisin menetelmin on hankalaa, koska tarve on mitata valmista kappaletta, josta hieen valmistus on lähes mahdotonta. Kappaleessa on lisäksi erilaisia muotoja, pyöreyttä, usein ne ovat onttoja ja niissä on kierre, joka hankaloittaa mittaamista.

Kappaleita mitattaessa ja mittauksia valmistellessa täytyy pinnan olla mahdollisimman sileä. Leeb TH-170 mittarin ohjeissa sanotaan, että pinnankarheuden tulisi olla maksimissaan Ra 1,6 µm. Pinnankarheutena Ra 1,6 on jo erittäin sileä, joten jokainen kappale vaatii hionnan. Esimerkkinä Ra 1,6 pinnankarheudesta sanottakoon, että se on minimivaatimus O-renkaalle, huulitiivisteiden asennuspinnalle ja laakerisovitteelle.

Kovuuksia mitattaessa tulisi mitattavan kohdan olla mahdollisimman tasainen ja sileä. Tarpeen mukaan käytetään tukirengasta pyöreillä pinnoilla. Pienistä kappaleista ihan jokaista pientä uraa tai jälkeä ei välttämättä saada hiottua pois ja näitä kohtia kannattaa yrittää kiertää mitattaessa, mahdollisuuksien mukaan. Tehtyjen mittausten perusteella karkeammalla pinnalla tulee enemmän hajontaa mittaustulosten suhteen kuin sileällä pinnalla.

Mitattaessa pieniä kappaleita 0,05-2 kg tulee kappale kiinnittää kunnolla ruuvipenkkiin niin, että se on tukevasti kiinni, eikä heilu. Pintaan laitetaan ohut kerros tarkoitusta varten valmistettua rasvaa. Kappaleet 2-5 kg tulee kiinnittää ruuvipenkkiin, mutta rasvaa ei tarvita.

Mittauksia tulisi suorittaa useista eri kohdista kappaletta ja useita toistoja per kohta, koska mittauksia tulee lukea tilastollisesti. Yhdestä kohdasta mitataan 5-10 kertaa ja lasketaan keskiarvo. Mitattavia kohtia kappaleen koosta riippuen 2-5. Mitattujen kohtien arvoja verrataan toisiinsa luotettavuuden varmistumiseksi. Tuloksien ollessa yhdenmukaisia lasketaan keskiarvo erikohtien tuloksista ja saadaan kovuusarvo.

### 7.3 Valettujen osien testausta

Esimerkkohteiksi valikoitiin muutamia erilaisia valamalla valmistettuja messinkikulmia. Tarkoitus oli valita mittauksiin kappaleita, jotka olisivat haastavia mitata. Kappaleet puhdistettiin liasta ja hiottiin tasaiseksi mittauskohdista. Toiset kappaleet olivat jonkun verran naarmuuntuneet ja syvistä naarmuista johtuen pintaa ei saatu virheettö-

mäksi ja tästä johtuu vaihtelu tuloksissa. Kovuutta mitattiin kolmesta eri kohdasta molemmista kyljistä ja pyöreältä osalta. Mittausta vaikeutti myös kappaleiden pyöreys. Esimerkki kappaleita kuvassa 19.



Kuva 19. Testissä käytetyt kappaleet

Taulukko 9. Valettujen kappaleiden 1 ja 2 kovuudet

kpl nro 1				Kpl nro 2			
Kohta	1	2	3	Kohta	1	2	3
	66,8	65,9	65,3		64,5	61,5	61,8
	69,6	69,9	69,6		65,9	60,3	59,7
	69	70	68,3		70,8	63,4	60,9
	70,2	68,2	68		59,3	63,6	61,2
	67,4	70,2	63,7		72,6	55,4	53,5
Kes- kiarvo	68,6	68,8	67,0	Kes- kiarvo	66,6	60,8	59,4
Keskiarvo kaikki 68,1 HRB				Keskiarvo kaikki 62,3 HRB			
Keskihajonta $\pm 0.9\text{HRB}$ $\pm 1.3\%$				Keskihajonta $\pm 3.6\text{HRB}$ $\pm 5.8\%$			



Taulukko 10. Valettujen kappaleiden 3 ja 4 kovuudet

Kpl nro 3				Kpl nro 4			
Kohta	1	2	3	Kohta	1	2	3
	52,2	53,1	67,6		59,5	57	70
	41,2	55,1	66,8		67,2	52,6	70,7
	51,3	63,8	69,4		60,3	67,4	69,7
	60	46	66,9		66,5	65,3	57,5
	65,4	65,6	64,8		66,8	67,6	51,7
Kes- kiarvo	54,0	56,7	67,1	Kes- kiarvo	64,1	62,0	63,9
Keskiarvo kaikki		59,3	HRB	Keskiarvo kaikki		63,3	
Keskihajonta		$\pm 6.5\text{HRB}$	$\pm 10.9\%$	Keskihajonta		$\pm 2.0\text{HRB}$	$\pm 3.2\%$

Kaikkien 4 kappaleen keskiarvo 63,3HRB ja keskihajonta  $\pm 5,3\%$ .

Suurimmat heitot tuloksissa tulivat kappaleessa 3. Tämän voi huomata kuvasta 19, että pinta on vielä jonkin verran epätasainen ja vastaavasti tasaisin pinta, on kappaleessa 1, tämän voi huomata tuloksien yhteneväsyydestä. Kuitenkin tuloksia luettaessa ja ottaessa huomioon haasteet mitata kovuutta pienestä ja pyöreästä kappaleesta, voidaan sanoa kovuuden olevan samoilla alueilla, kuin muissakin mitatuissa osissa.

#### 7.4 Kuumapuristettujen osien testausta

Vertailukohteeksi otettiin kuumapuristettuja messinkikulmia. Osat olivat yhtä hankalia puhdistaa virheettömiksi ja mitata kuin edellä mainitut valetut osat. Mittauksia suoritettiin useita yhdestä kappaleesta ja keskiarvojen perusteella voidaan vetää johtopäätökset kappaleen kovuudesta.

Taulukko 11. Kuumapuristettujen kappaleiden 1 ja 2 kovuudet

Kpl nro 1				Kpl nro 2			
Kohta	1	2	3	Kohta	1	2	3
	66,6	65,6	65,3		65,1	72,6	59,9
	65,5	72	52		64,2	71	77,5
	62,3	65	67		51,3	77,7	82,8
	66,1	73,3	73,8		58,7	70,3	72,1
	65,5	72,7	72,7		50,5	72,7	77,1
Kes- kiarvo	65,2	69,7	66,2	Kes- kiarvo	58,0	72,9	73,9
Keskiarvo kaikki 67,0 HRB				Keskiarvo kaikki 68,2 HRB			
Keskihajonta $\pm 4.3\text{HRB}$ $\pm 6.4\%$				Keskihajonta $\pm 8.0\text{HRB}$ $\pm 11.7\%$			

Taulukko 12. Kuumapuristettujen kappaleiden 3 ja 4 kovuudet

Kpl nro 3				Kpl nro 4			
Kohta	1	2	3	Kohta	1	2	3
	54	68,8	68,5		58,2	57	70
	47,5	62,7	62,5		51,1	54,1	66
	70,5	61,4	48,1		62,1	61,9	59,5
	50,7	65,6	57		56,8	56,4	65,6
	73,9	52,1	64,7		56	59,9	63,3
Kes- kiarvo	59,3	62,1	60,2	Kes- kiarvo	56,8	57,9	64,9
Keskiarvo kaikki 60,5 HRB				Keskiarvo kaikki 59,9 HRB			
Keskihajonta $\pm 1.4\text{HRB}$ $\pm 2.3\%$				Keskihajonta $\pm 4.1\text{HRB}$ $\pm 6.8\%$			

Kaikkien 4 kappaleen keskiarvo 63,9HRB ja keskihajonta 6,8%.

Testit suoritettiin kappaleen ”kyljistä” eli suuremmalta pyöreältä pinnalta. Koska kappale on pyöreä joka suuntaan, valittiin suuremman säteen omaavaa pinta mittaukseen. Mittauksia tehtiin kolmesta eri kulmasta ja jokainen mittaus oli hieman eri kohdasta kuin aiempi.

Jonkin verran eroa mittauksissa tuli eri väristen kappaleiden välillä (kuva 20.). Vertailemalla tuloksia taulukoista 4 ja 5 voidaan huomata ero tulosten välillä.



Kuva 20. Testissä käytetyt osat

## 8 YHTEENVETO

Opinnäytetyö oli mielenkiintoinen ja haastava. Messinkiä ei ole tutkittu vielä läheskään niin paljoa kuin teräksiä, joten tietoa oli vähemmän saatavilla. Vaikka tiedon saanti oli hieman haastavampaa, saatiin kuitenkin koottua hyvä tietopaketti opinnäytetyötä varten.

Kovuusmittaukset sekä messinki ovat aiheena laaja ja tietyiltä osin moniselitteinen asia. Työ rajattiin laajuutensa vuoksi koskemaan vain messingistä valmistettuja valmiita tuotteita. Työn keskeisenä tarkoituksena oli tutkia ja kehittää tapoja varmistua valmiiden kappaleiden laadusta kovuusmittauksen kautta, koska vastaava menetelmä ei ole vielä kehitetty.

Kovuusmittauksia tutkittaessa päädyttiin hyödyntämään jo käytössä olevaa kovuusmittaria TH-170. Kyseinen kovuusmittari todettiin hyväksi valmiiden kappaleiden mittaamiseen, sen jälkeen, kun laitteella oli suoritettu erilaisia testejä sekä useita mittauksia. Laitteelle suoritettiin myös gage r&r tutkimus ja tutkittiin tuloksien hajontaa.

## LÄHTEET

4MS common composition list – Part B, 12<sup>th</sup> revision, 14.10.2019, viitattu 2.1.2020  
[https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/374/dokumente/12th\\_revision\\_4ms\\_scheme\\_for\\_metallic\\_materials\\_part\\_b.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/374/dokumente/12th_revision_4ms_scheme_for_metallic_materials_part_b.pdf).

Konrad Herrmann 2011, Hardness Testing: Principles and Applications, ASM International 2011, viitattu 9.10.2019. <https://ebookcentral.proquest.com/lib/samk/reader.action?docID=3002452&ppg=7>

Oras group www-sivut. 2019. Viitattu 12.9 <http://www.oras.fi>

Russell H. Jones 1992, Stress-Corrosion Cracking: Materials Performance and Evaluation, ASM International 1992, viitattu 10.10.2019. <https://ebookcentral.proquest.com/lib/samk/reader.action?docID=3002416&ppg=1>

Silvennoinen, S. & Metalliteollisuuden keskusliitto 2001, Raaka-aine käsikirja 3: Kuparimetallit, 2, uud.p, Helsinki: metalliteollisuuden kustannus 2001

Suomen standardisoimisliitto 2007, Teräs: aineenkoetusstandardit. Osa 2, Kovuusko-  
 keet 2007, 6. uud. p, Helsinki: Suomen standardisoimisliitto 2007

Suomen standardisoimisliitto 2009, Kupari ja kupariseokset. osa 1: yleis- ja tes-  
 tausstandardit 2009, 2.p, Helsinki: Suomen standardisoimisliitto 2009

V. S. Raja & Tetsuo Shoji 2011, Stress corrosion cracking: Theory and practice, Woodhead Publishing 2011, viitattu 8.10.2019. <https://ebookcentral.proquest.com/lib/samk/reader.action>

# LIITE 1

Messingin kovuusmuuntoarvot (70% kupari ja 30% sinkkiä)						
HV Vickers	Rockwell HRB	HRF	HR15T	HR30T	HR45T	HB Brinell HBS10/500
196	93.5	110	90	77.5	66	169
194	-	109.5	-	-	65.5	167
192	93	-	-	77	65	166
190	92.5	109	-	76.5	64.5	164
188	92	-	89.5	-	64	162
186	91.5	108.5	-	76	63.5	161
184	91	-	-	75.5	63	159
182	90.5	108	89	-	62.5	157
180	90	107.5	-	74.5	62	156
178	89	-	-	-	61.5	154
176	88.5	107	-	-	61	152
174	88	-	88.5	74	60.5	150
172	87.5	106.5	-	73.5	60	149
170	87	-	-	-	59.5	147
168	86	106	88	73	59	146
166	85.5	-	-	72.5	58.5	144
164	85	105.5	-	72	58	142
162	84	105	87.5	-	57.5	141
160	83.5	-	-	71.5	56.5	139
158	83	104.5	-	71	56	138
156	82	104	87	70.5	55.5	136
154	81.5	103.5	-	70	54.5	135
152	80.5	103	-	-	54	133
150	80	-	86.5	69.5	53.5	131
148	79	102.5	-	69	53	129
146	78	102	-	68.5	52.5	128
144	77.5	101.5	86	68	51.5	126
142	77	101	-	67.5	51	124
140	76	100.5	85.5	67	50	122
138	75	100	-	66.5	49	121
136	74.5	99.5	85	66	48	120
134	73.5	99	-	65.5	47.5	118
132	73	98.5	84.5	65	46.5	116
130	72	98	84	64.5	45.5	114
128	71	97.5	-	63.5	45	113
126	70	97	83.5	63	44	112
124	69	96.5	-	62.5	43	110
122	68	96	83	62	42	108
120	67	95.5	-	61	41	106

118	66	95	82.5	60.5	40	105
116	65	94.5	82	60	39	103
114	64	94	81.5	59.5	38	101
112	63	93	81	58.5	37	99
110	62	92.6	80.5	58	35.5	97
108	61	92	-	57	34.5	95
106	59.5	91.2	80	56	33	94
104	58	90.5	79.5	55	32	92
102	57	89.8	79	54.5	30.5	90
100	56	89	78.5	53.5	29.5	88
98	54	88	78	52.5	28	86
96	53	87.2	77.5	51.5	26.5	85
94	51	86.3	77	50.5	24.5	83
92	49.5	85.4	76.5	49	23	82
90	47.5	84.4	75.5	48	21	80
88	46	83.5	75	47	19	79
86	44	82.3	74.5	45.5	17	77
84	42	81.2	73.5	44	14.5	76
82	40	80	73	43	12.5	74
80	37.5	78.6	72	41	10	72
78	35	77.4	71.5	39.5	7.5	70
76	32.5	76	70.5	38	4.5	68
74	30	74.8	70	36	1	66
72	27.5	73.2	69	34	-	64
70	24.5	71.8	68	32	-	63
68	21.5	70	67	30	-	62
66	18.5	68.5	66	26	-	61
64	15.5	66.8	65	25.5	-	59
62	12.5	65	63.5	23	-	57
60	10	62.5	62.5	-	-	55
58	-	61	61	18	-	53
56	-	58.8	60	15	-	52
54	-	56.5	58.5	12	-	50
52	-	53.5	57	-	-	48
50	-	50.5	55.5	-	-	47
48	-	49	54.5	-	-	46
47	-	47	53.5	-	-	45
46	-	45	-	-	-	44
45	-	40	-	-	-	42